

DE 44 28 321 A 1

A linear motor which in the passive part does not convey magnetic fluxes parallel to the movement direction whereby the passive part can be built with very little ferromagnetic material and is therefore relatively light. The normal forces perpendicular to the movement direction are opposed and identical, they rise. The motor can position in a first control mode in an optimum manner and develop propulsion forces in a second control mode and can act as a generating set. For an execution as polar group motors, the ratio between the propulsion force and the speed is optimised.



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 28 321 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
H 02 K 41/03

②① Aktenzeichen: P 44 28 321.0
②② Anmeldetag: 11. 8. 94
④③ Offenlegungstag: 15. 2. 96

DE 44 28 321 A 1

⑦① Anmelder:
Bendrich, Horst, 75015 Bretten, DE

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 32 08 380 C2
DE-OS 22 47 509
DE-OS 21 11 802
SU 16 58 314 A1

LAFORIE, P.;

et. al.: Moteur pas a pas lineaire 'areluctance
variable, de petite puissance. In: Re- vue Generale
del

Electricite (RGE), 1974, Nr.4, S.220-225;

THOMPSON, L.J.: Linear Incremental Motor. In: IBM
Technical Disclosure Bulletin, Vol. 6, No. 9,
Febr. 1964, S.19,20;

⑤④ **Linearer Reluktanzmotor**

⑤⑦ Es wird ein Linearmotor angegeben, der im passiven Teil
keinen magnetischen Fluß parallel zur Bewegungsrichtung
führt. Dadurch kann der passive Teil mit sehr wenig
ferromagnetischem Material konstruiert werden und erhält
damit eine verhältnismäßig geringe Masse. Die Normalkräfte
senkrecht zur Bewegungsrichtung sind entgegengesetzt und
gleich groß; sie heben sich auf. Der Motor kann mit einem
ersten Ansteuermodus optimal positionieren und entwickelt
mit einem zweiten Ansteuermodus optimale Vortriebskräfte
und kann als Generator wirken. Durch Ausführung des
Motors als Polgruppenmotor wird das Verhältnis von Vor-
triebskraft zu Geschwindigkeit optimiert.

DE 44 28 321 A 1

Begriffe:

Bei Elektromotoren sind Begriffe wie Anker, Rotor, Stator und Läufer üblich. Da diese Begriffe die Teile eines Linearmotors nur unzulänglich beschreiben, werden hier die Begriffe "Aktiver Teil" und "Passiver Teil" benutzt. Als Aktiver Teil wird hier der Teil des Motors bezeichnet, in dem sich elektrische Erregerwicklungen befinden; der passive Teil enthält dagegen nur Eisen zur Führung des Magnetfeldes und — falls erforderlich — Permanentmagnete oder Kurzschlußwindungen.

Zwischen dem aktiven und dem passiven Teil findet beim Betrieb des Linearmotors eine Relativbewegung statt. Es ist unerheblich, welcher der beiden Motorteile feststeht und welcher Teil beweglich ist.

Aus der Literatur sind diverse Linearmotoren bekannt, die als Gleichstrommotor, als Asynchronmotor oder als Hybridschrittmotor ausgebildet sind (s. hierzu: Draeger/Moczala, Elektrische Linear-Kleinmotoren, Franzis Verlag). Diesen Motoren ist gemeinsam, daß im passiven Teil ein nicht unerheblicher magnetischer Fluß in Bewegungsrichtung geführt werden muß und dadurch ein großer Eisenquerschnitt mit entsprechend hoher Masse erforderlich ist. Außerdem entstehen bei diesen Motoren große Normalkräfte zwischen aktivem und passivem Teil, die zwar die Lagerung belasten, zum eigentlichen Vortrieb jedoch nicht beitragen. Der erfindungsgemäße Reluktanzmotor beseitigt diese Probleme, benötigt keine Permanentmagnete und kann zur Erhöhung der Vorschubkraft als Polgruppenmotor ausgebildet werden.

Zur weiteren Erläuterung wird nun auch auf Fig. 1 verwiesen, in der eine bevorzugte, dreiphasige Ausführungsform dargestellt ist.

An einem Trägerelement 1, welches aus nichtmagnetischem Material gefertigt ist, sind drei U-förmige Teile 2a, 2b, 2c befestigt. Diese U-förmigen Teile sind aus magnetisch gut leitendem Material, vorzugsweise Dynamoblech, hergestellt. Um die kurzen Schenkel der U-förmigen Teile 2a, 2b, 2c sind die Erregerwicklungen 3a, 3b, 3c gewickelt. Die langen Schenkel der U-förmigen Teile 2a, 2b, 2c enden am freien Ende nach innen in den Polen 4a, 4b, 4c.

Das Trägerelement 1, die U-förmigen Teile 2a, 2b, 2c und die Erregerwicklungen 3a, 3b, 3c bilden zusammen den aktiven Teil des Linearmotors.

Zwischen den sich gegenüberstehenden Polen des aktiven Teils befindet sich der passive Teil 5, welcher ebenfalls aus magnetisch gut leitendem Material, vorzugsweise Dynamoblech, gefertigt ist. Der passive Teil setzt sich aus den Polen 6 und den Stegen 7 zusammen. Die Stege 7 sind zur Funktion des Motors nicht erforderlich. Sie dienen nur zum mechanischen Zusammenhalt der Pole 6. In einer bevorzugten Ausführungsform des passiven Teils werden die Pole 6 im Druckgußverfahren mit einer nicht magnetischen Aluminiumlegierung umspritzt, wodurch die Stege 7 ganz entfallen können. Die Länge des passiven Teils 5 richtet sich nach der geforderten Hublänge des Linearmotors und beträgt die geforderte Hublänge, zuzüglich der Länge des aktiven Teils.

Die elektrische Ansteuerung des Motors geschieht durch Einspeisung von Strömen in die Erregerwicklungen 3a, 3b, 3c nach einer vorgegebenen Sequenz. Es sind zwei grundsätzliche Modi dieser Sequenz möglich. Zur Erläuterung des ersten Modus wird nun auch auf Fig. 2 verwiesen.

In Fig. 2 sind die Ströme durch die Erregerwicklungen 3a, 3b, 3c über der Zeit aufgetragen. Der Kurvenzug 8 zeigt den Strom durch die Wicklung 3c, der Kurvenzug 9 den Strom durch die Wicklung 3b und der Kurvenzug 10 den Strom durch die Wicklung 3a.

Diese Kurvenzüge wiederholen sich zyklisch. Zu Beginn der erläuternden Betrachtung ist zur Zeit $t = T_0$ der Strom durch die Wicklung 3c nach Kurvenzug 8 auf sein Maximum eingeschaltet. Dadurch wird im U-förmigen Teil 2c ein magnetischer Fluß erzeugt, der sich über die Pole 4c, die Luftspalte 11 und 12 und durch den passiven Teil 5 schließt. Nach dem Reluktanzprinzip wird dadurch der passive Teil in die Position gezogen, in der die Luftspalte 11 und 12 eine minimal mögliche Länge haben; dies ist in der in Fig. 1 dargestellten Stellung der Fall. Die in der Darstellung nach Fig. 1 horizontalen Normalkräfte, die dabei auf den passiven Teil 5 wirken, sind entgegengesetzt und gleich groß, sofern die Luftspalte 11 und 12 gleich lang sind; was durch die Konstruktion des Motors gewährleistet ist. Die Normalkräfte heben sich also auf und belasten die Lagerung zwischen aktivem und passivem Teil nicht.

Wird nun, wie in Fig. 2, Kurvenzug 9 dargestellt, während der Zeitperiode T_0 bis T_1 der Strom durch die Erregerwicklung 3b von Null auf sein Maximum erhöht, üben dann auch die Pole 4b eine Kraft auf das passive Teil 5 aus. Die bezogen auf Fig. 1 horizontalen Komponenten dieser Kraft heben sich auf; die vertikalen Komponenten addieren sich jedoch und führen zu einer Relativbewegung zwischen aktivem und passivem Teil. Nimmt man in der Darstellung von Fig. 1 an, daß der aktive Teil räumlich fixiert ist, bewegt sich der passive Teil nach oben und zwar soweit, bis die vertikalen Kraftkomponenten erzeugt durch die Pole 4c und 4b im Gleichgewicht sind.

Setzt man nun erfindungsgemäß voraus, daß die von den Maximalwerten der Ströme durch die Wicklungen 3a, 3b, 3c erzeugten magnetischen Induktionen in den Luftspalten gleich groß sind, daß die Polteilungen der Pole 4a, 4b, 4c des aktiven Teils und die Polteilung der Pole 6 des passiven Teils gleich groß sind und daß der Abstand zwischen den U-förmigen Teilen 2c und 2b sowie auch zwischen den U-förmigen Teilen 2b und 2a ein Vielfaches der Polteilung, zuzüglich einem Drittel der Polteilung ist, befinden sich die Vertikalkräfte der Pole 4c und 4b im Gleichgewicht, wenn sich das passive Teil um ein Sechstel der Polteilung nach oben bewegt hat.

Wird, wie in Fig. 2 dargestellt, als nächstes während der Zeitdauer von T_1 bis T_2 im Kurvenzug 8 der Strom durch die Erregerwicklung 3c auf Null reduziert, wirken nur noch die Kräfte der Pole 4b auf den passiven Teil. Der passive Teil bewegt sich dadurch um ein weiteres Sechstel der Polteilung nach oben, bis sich die Pole 4b und die Pole 6 gegenüberstehen. Nun wird, wie in Kurvenzug 10 dargestellt, während der Zeitdauer von T_2 bis T_3 der Strom durch die Wicklung 3a von Null auf sein Maximum erhöht; der passive Teil bewegt sich um ein Sechstel der Polteilung nach oben, damit die Kräfte, erzeugt von den Polen 4a und 4b, im Gleichgewicht bleiben. Während der Zeitdauer T_3 bis T_4 wird nach Kurvenzug 9 der Strom durch die Wicklung 3b auf Null reduziert. Der passive Teil bewegt sich weiter nach oben, bis die Pole 4a den Polen 6 gegenüberstehen. Während der Zeitdauer T_4 bis T_5 wird nach Kurvenzug 8 der Strom durch die Wicklung 3c von Null auf sein Maximum erhöht; der passive Teil bewegt sich weiter nach oben, bis die Kräfte, erzeugt von den Polen 4a und

4c, im Gleichgewicht sind. Während der Zeitdauer T_5 bis T_{0a} wird nach Kurvenzug 10 der Strom durch die Wicklung 3a auf Null reduziert. Der passive Teil bewegt sich weiter nach oben, bis die Pole 4c den Polen 6 gegenüberstehen. Dies entspricht der Ausgangsstellung bei $t = T_0$. Der beschriebene Vorgang wiederholt sich periodisch, so daß sich der passive Teil kontinuierlich nach oben bewegt. Zur Umkehrung der Bewegungsrichtung können z. B. die Kurvenzüge 9 und 10 miteinander vertauscht werden. In diesem beschriebenen ersten Ansteuermodus ist eine kontinuierliche Ansteuerung und damit auch eine Positionierung des passiven Teils zwischen den Polschritten dadurch möglich, daß die Wicklungsströme zwischen Null und ihrem Maximum eingestellt werden. Positionssensoren, welche die relative Lage von aktivem und passivem Teil erfassen, sind nicht grundsätzlich erforderlich, verbessern jedoch das dynamische Verhalten des Motors. Da die Vortriebskräfte der Polgruppen nach diesem ersten Ansteuermodus jedoch teilweise gegeneinander wirken, ist die maximal mögliche Vortriebskraft mit diesem Modus nicht erreichbar.

Ein im folgenden beschriebener zweiter Ansteuermodus erzeugt maximale Vortriebskräfte, kann jedoch das unbelastete bewegliche Teil nicht zwischen den Polschritten positionieren. Wirkt jedoch eine externe Kraft gegen die Vortriebskraft, ist eine Positionierung zwischen den Polschritten dadurch möglich, daß die maximalen Ströme durch die Wicklungen so eingestellt werden, daß ein Gleichgewicht zwischen der externen Kraft und der Vortriebskraft des Motors hergestellt wird.

Bei diesem zweiten Ansteuermodus sind Positionssensoren erforderlich, welche die relative Position zwischen aktivem und passivem Teil erfassen. In einer bevorzugten Ausführungsform werden hierzu Hall-Sensoren benutzt, die gleichzeitig als Sensoren für ein Wegmeßsystem wirken.

Zur Erläuterung des zweiten Ansteuermodus sei nun auch auf Fig. 3 Bezug genommen.

Fig. 3 stellt einen zeitlichen Ausschnitt aus einer Bewegung des passiven Teils 5 nach oben bezogen, auf die Darstellung in Fig. 1 dar.

Zum Zeitpunkt $t = T_0$ ist der Strom durch die Wicklung 3c nach Kurvenzug 13 eingeschaltet; die Pole 6 des passiven Teils bewegen sich — von unten kommend — auf die Pole 4c des aktiven Teils zu. Zum Zeitpunkt $t = T_1$ befinden sich die Pole 6 des passiven Teils in der Mitte zwischen den Polen 4b des aktiven Teils. In dieser Stellung wird die Erregung der Wicklung 3b nach Kurvenzug 14 eingeschaltet und erhöht während der Zeit von T_1 bis T_2 die Vortriebskraft, ausgelöst durch die Wicklung 3c. Im Zeitpunkt $t = T_2$ befinden sich die Pole 6 des passiven Teils gegenüber den Polen 4c des aktiven Teils, die nun nicht mehr zur Vortriebskraft beitragen können. Die Wicklung 3c wird deshalb nach Kurvenzug 13 abgeschaltet, und die Pole 4b sorgen bis zum Zeitpunkt $t = T_3$ für die Vortriebskraft. Zum Zeitpunkt $t = T_3$ befinden sich die Pole 6 des passiven Teils in der Mitte zwischen den Polen 4a des aktiven Teils. In dieser Stellung wird die Erregung der Wicklung 3a nach Kurvenzug 15 eingeschaltet und erhöht während der Zeit von T_3 bis T_4 die Vortriebskraft, ausgelöst durch die Wicklung 3b. Im Zeitpunkt $t = T_4$ befinden sich die Pole 6 des passiven Teils gegenüber den Polen 4b des aktiven Teils, die nun nicht mehr zur Vortriebskraft beitragen können. Die Wicklung 3b wird deshalb nach Kurvenzug 14 abgeschaltet, und die Pole 4a sorgen bis zum Zeitpunkt $t = T_5$ für die Vortriebskraft. Zum Zeitpunkt

$t = T_5$ befinden sich die Pole 6 des passiven Teils in der Mitte zwischen den Polen 4c des aktiven Teils. In dieser Stellung wird die Erregung der Wicklung 3c nach Kurvenzug 13 eingeschaltet und erhöht während der Zeit von T_5 bis T_{0a} die Vortriebskraft, ausgelöst durch die Wicklung 3a. Im Zeitpunkt $t = T_{0a}$ befinden sich die Pole 6 des passiven Teils gegenüber den Polen 4a des aktiven Teils, die nun nicht mehr zur Vortriebskraft beitragen können. Die Wicklung 3a wird deshalb nach Kurvenzug 15 abgeschaltet, und die Ansteuersequenz wiederholt sich ab $t = T_0$.

In dem beschriebenen zweiten Ansteuermodus werden die Wicklungen dann eingeschaltet, wenn sich die Pole des passiven Teils zwischen den wicklungszugehörigen Polen des aktiven Teils befinden und ausgeschaltet, wenn sich die Pole des passiven Teils gegenüber den wicklungszugehörigen Polen des aktiven Teils befinden. Dies bewirkt einen optimalen motorischen Betrieb. Wird der Ansteuermodus so verändert, daß die Wicklungen eingeschaltet werden, wenn sich die Pole des passiven Teils gegenüber den wicklungszugehörigen Polen des aktiven Teils befinden und ausgeschaltet, wenn sie sich zwischen den wicklungszugehörigen Polen des aktiven Teils befinden, wird der Linearmotor zum Generator.

Die Polgruppen 4a, 4b, 4c bestehen in Fig. 1 beispielhaft aus vier einzelnen Polen. Jede andere Polzahl ist jedoch auch möglich, solange die Polteilung der Pole auf dem aktiven Teil der des passiven Teils entspricht. Eine Erhöhung der Polzahl erhöht die Vortriebskräfte des erfindungsgemäßen Linearmotors, verringert aber die bei gegebener Ansteuerspannung erreichbare Endgeschwindigkeit. Bei der Auslegung eines Motors kann über die Anzahl der Pole pro Polgruppe ein für die Anwendung optimales Verhältnis von Vortriebskraft zu Endgeschwindigkeit erreicht werden.

Patentansprüche

1. Linearer Reluktanzmotor, dadurch gekennzeichnet, daß im passiven Teil des Motors kein magnetischer Fluß parallel zur Bewegungsrichtung auftritt.
2. Linearer Reluktanzmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Normalkräfte zwischen aktivem und passivem Teil entgegengesetzt und gleich groß sind und sich dadurch aufheben.
3. Linearer Reluktanzmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß er durch eine Ansteuerung nach einem ersten Modus (Fig. 2) optimal positionierbar ist.
4. Linearer Reluktanzmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß er durch eine Ansteuerung nach einem zweiten Modus (Fig. 3) optimale Vortriebskräfte entwickelt und auch als Generator betrieben werden kann.
5. Linearer Reluktanzmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß er als Polgruppenmotor ausgeführt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

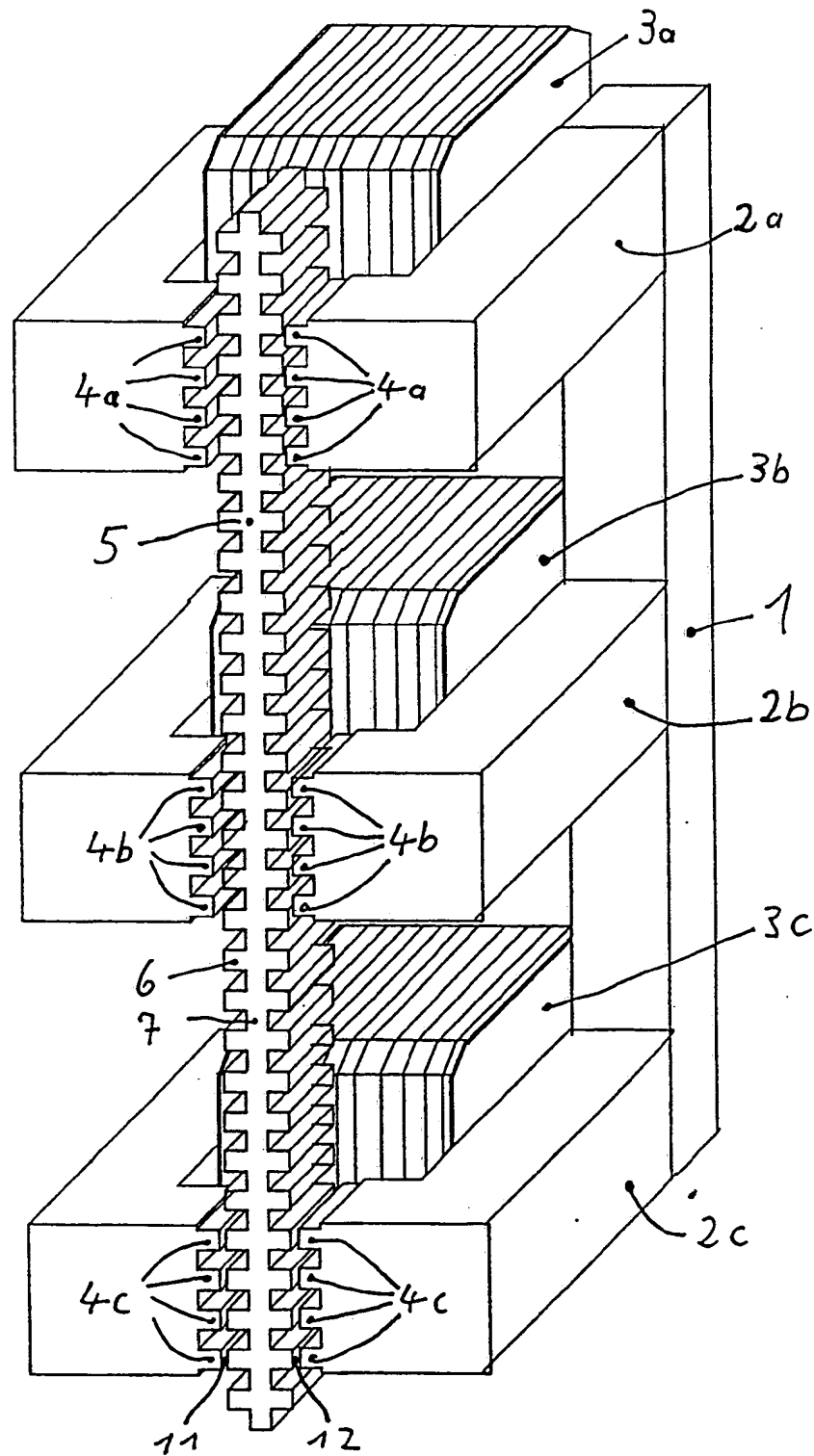


Fig. 1

FIG. 2

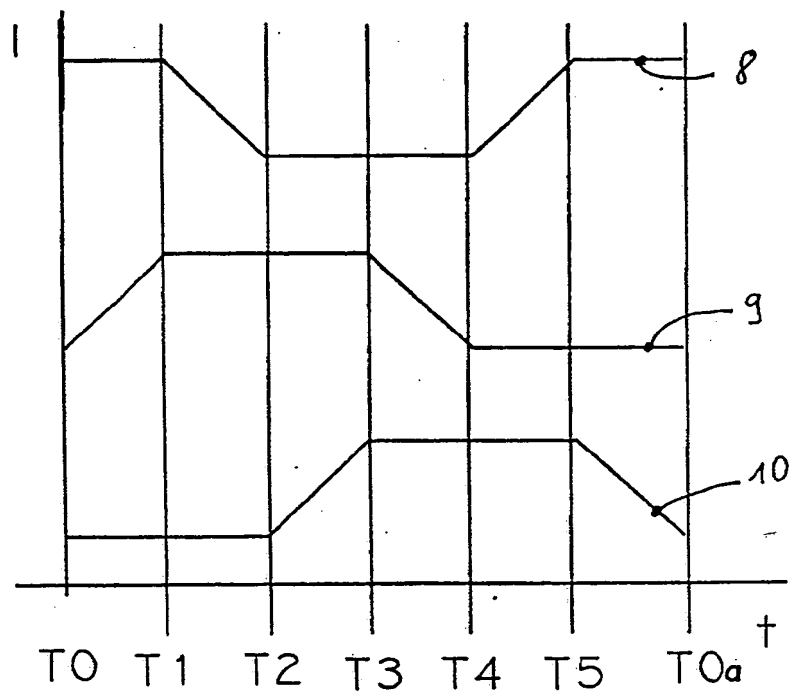


FIG. 3

